
サイクリング用義足の研究

The Study of Artificial Leg for Cycling

■ 深見 太一 FUKAMI Taichi

愛知県立芸術大学大学院 本田敬研究室

Aichi University of the Arts

■ キーワード：義足 サイクリング バイオニクス アドバンスデザイン

はじめに

スポーツ義足は、技術の進歩によって、人体の脚を超える脚力や運動能力を可能にし始めている。また、スポーツ義足の形状を変化させることにより、陸上競技のみならず、バレーやロードレースなど、パラスポーツの多様化も進んできた。また、2021年には東京オリンピックが開催され、国内でのパラスポーツや義足への注目も更に高まった。本研究では先端技術を用い、アドバンスデザインとして将来の義足の理想像を提案することを目的とする。先端技術として、バイオニクス義足の技術を参考にデザインを行う。

義足において近年では気軽にスポーツを楽しむ機会が増え、「日常とアクティビティをシームレスに繋ぐ」デザインが求められている動向があることが専門家との話で分かった。そのため、日常用義足における「アクティビティへのハードルを下げる」ことをコンセプトに義足をデザインする。

体への負荷が少なく、通勤などで日常的に使用できる自転車での走行、サイクリングを対象を絞った。また、「アクティビティへのハードルを下げる」ことから、これからサイクリングを始めたい、安全に気軽にサイクリングを楽しみたいという下腿義足ユーザーをターゲットにする。

1. 機能の考察

2019年度に行った現在の義足の問題点の調査や、義足でサイクリングを行う3名へのインタビューから日常とサイクリングをシームレスに繋げるために必要となる機能を考察した。

1.1. バイオニクス

バイオニクス義足は、筋肉の発する電氣的パルスを図る電極を断端に設置することで、神経系と情報をやり取りする。それによって関節のトルクやパワーを使用者の意思で操り、動かすことが可能となる。マサチューセッツ工科大学のヒュー・ハー教授が開発した「BiOM(2014)」がその代表例である。

これにより、足部の詳細な動きが可能になり、踏み込みや蹴りだす力をより有効にアシストすることができるようになる。

1.2. センシング

現在、義足のソケットと足部を繋ぐアライメントと呼ばれるパーツは、義肢装具士などの専門家が調整を行っている。アライメントの調整によって足首の角度を個人に合わせ、快適な歩行を可能にする。しかし、個人での調整は難しく、専門家の手が必要である点が問題となっている。

そこで、センシング技術を用いることで角度を自動調整し、個人での調整を簡易化し、常に快適な歩行を可能にできると推測した。

1.3. 充電

前述したバイオニクスとセンシングは電力を用いるため、受電方法が問題となる。従来の電動義足は非使用時にバッテリーを充電するが、本研究では、サイクリングに特化した義足なのでサイクリング中の充電可能性について追求する。

車輪やクランクなどの回転を利用し、走行しながらワイヤレス給電を行うことで、歩行時に必要な電力を確保することが可能なのか、また、その機能の必要性を重量やサイズ、形状とのバランスなどを調査する。

1.4. 足部

サイクリングに特化した足部にするため、現在の義足でサイクリングを行っている方へのインタビューから判明した問題点を解決する。

主な問題として、踵とクランクが衝突する点と、足部がペダルから離れる点が挙げられる。義足では足部の細かな操作が難しく、正しい位置に置くことやその維持が難しいため、こうした課題がある。よって、クランクとの接触を避けるための踵の形状や、ペダルから足が離れないための固定方法を考案

する。既存のビンディングペダルは押し込みやひねりの動作が必要となり、通常の義足では取り外しが困難であるため、新たな専用ペダルをデザインする必要がある。

さらに、センシング技術を用いて調整を自動化することによって、これまで難しかった個人での足部の交換が可能となる。足部の交換が可能になることによって、用途に合わせて足部を選ぶことができるようになる。そのため、本研究では、交換する足部をサイクリングに特化することで日常とサイクリングをシームレスに繋げていく。

2. 先行研究

バイオニクスとセンシングを実現させるため、3軸の電動油圧ダンパーを用いたバイオニクス義足[注 1]を参考にする[図 1]。

3軸を用いることで、縦方向のみならず横方向へ足首を曲げることが可能になっている。これによって、より柔軟に、健足に近い動きを再現できる。現モデルは油圧ダンパーがかなり大きく、人の脚の形状からかけ離れているが、将来小型化していくことが予想されるため、小型化したものを前提とする。

現在の3軸の電動油圧ダンパーを用いたバイオニクス義足は、下腿部の 1/3 程度の大きさであるが、現在市場に出回っているロボット義足の大きさである下腿部の 1/4 程度の大きさまで小型化されたものとする。



図1 3軸構造のバイオニクス義足

3. デザインの概要

義足全体のデザインとして、健足側の脚を基に形状やボリューム感に違和感や抵抗感をなくすことを前提とする。また、その上で重量やメンテナンスのしやすさ、精密部分の保護も考慮する。そのため、軽量化やアクセシビリティを踏まえて外観をデザインする必要がある。

3.1. 下腿部

下腿部には機能としてバッテリーとその充電機構、バイオニクス機構、センシング機能を持たせる。スタイリングとして下腿部そのものの見た目だけでなく、服を着た状態でも違和感のないものを目指す。義足利用者のスタイリングの違和感の原因として、健足との形状の差やそれによる服を着た際のボリューム感がある。軽量化を図り、カバー面積を減らすのみでなく、必要な機能や機構を備えつつ健足側に近い形状やボ

リューム感を維持する必要がある。

また、既存のカバーがついている義足では、下腿部と足部の間に生まれる隙間に違和感の原因があると考えられる。その違和感をなくす方法として、隙間を失くす・狭くすることを考えられるが、その方法は重量の増加や足首の可動域の減少を招くため断念した。結局、隙間の存在感を薄め、違和感を減らすため、下腿部全体のスタイリングとして隙間や隙間に見える装飾を用いて足部より上に統一感を持たせていく。

さらに、断端の長さによって二通に対応するデザインにする。断端(切断して残された部分)が下腿部の 3/4 残っている場合は、下の 1/4 の部分に3軸電動油圧ダンパーや制御基板、バッテリーを内蔵する。断端が 3/4 より短い場合は、基盤とバッテリーを3軸電動油圧ダンパーとは異なる位置に内蔵する。

人によって細かく形が違う義足の形状は、今後は健足側をスキャンし、アルゴリズム(コンピューターによる計算方法)を用いてデザインが可能であり、それを前提とする。

3.2. 足部

足部は、カーボン素材の 3D プリンティング技術を用いることを前提としてデザインする。現在のカーボン素材の 3D プリンティングは繊維方向を操作できないため、スポーツ義足に用いられている板バネのような弾性を持ったものを成型することができないが、日々開発が急速に進められている背景から、将来的には十分可能になると考えられる。そのため、これまでのカーボン製品よりも複雑な形状が制作できるだろう。

機能としては、踵とクランクの接触回避やペダルと固定するための底面が必要となる。踵の形状を安定感が損なわれない程度に削ることで、クランクとの接触を回避する。また、部分的に板バネ形状を用いて弾性をもたせる。それにより、踏み出しのアシストや着地時の衝撃を吸収する。

3.3. ペダル

ペダルの固定方法として、専用のペダルと足部底面をデザインし、既存のビンディングペダルでの付け外しのしづらさの問題を解決する。ひねりなどの動作でなく、一方方向でのスライドで容易に固定・取り外しできることを目指す。

また、ペダルの踏み込み時に力がかかる時のみ足部とペダルが引っかかる固定具や機構を取り付ける。そして、走行中にペダルから足部が外れないよう足部を傾けてペダルから外れるようにする。バイオニクスと3軸構造により、足部を傾けやすくなったことにより、容易にペダルから足部を取り外しやすくなる

4. モチーフ

脚の筋肉と骨格をモチーフにし、デザインする。これまでの義足の外観は主に健足を模倣した形状や色をしていた。また、現在は模様などの柄を用いたカバーもあり、義足として個性を持たせる需要も現れている。そして、現在開発されている電動義足は、これまでの健足に限りなく寄せられたものとは異なり、機能や構造に伴った造形や色をしている。

義足の外観の流行としてソケットと支部、足部の必要最低限の道具から人体に寄せたものになり、現在は脚としての最

低限の形状を保ちつつ、機械的なものへととなっている。そこで、今後の流行は再び人体の要素を用いた外観に回帰すると考えられる[図 2]。

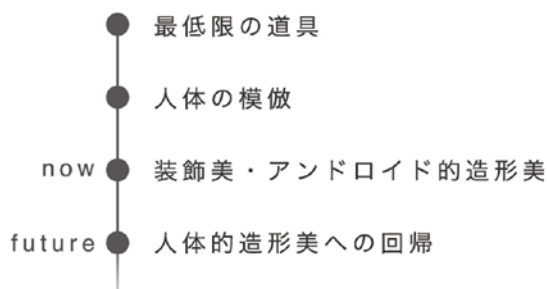


図2 義足外観の流行変遷

5. 下腿部デザインの詳細

外観としては隙間の違和感をなくすため、カバーの取り外しが可能な部分などの継ぎ目を誇張し、下腿部全体に隙間の装飾をする。大きな隙間を作ることで足首の隙間の違和感をなくすのみでなく、質量的にも印象的にも軽量化できる。また、その隙間は可動部とのクリアランスとしても機能する。そして、3D プリンティングを想定しているため小型パーツが集積した形状となった[図 3]。

模様は筋肉の膨らみと収束している様子を表現した。また、形状はふくらはぎ部分を膨らませ、足首部分を細くし、引き締まった脚を表現した。ふくらはぎ部分を膨らませることによってバッテリーや制御基板を内蔵しやすくした。これにより、下腿部断端の大きさの幅に広く対応することを可能にした[図 4]。

また、下腿部内側は隙間を大きく用いることで、外観としての統一感を持たせるのみではなく、バッテリーを充電するためのケーブルの接続や、簡単なメンテナンスを行うことができる。

そして下腿部の各パーツを取り外し可能にし、ソケットを交換する際にも互換性を持たせられる。また、掃除やメンテナンスも行いやすくなる[図 5]。



図3 義足の外観デザイン

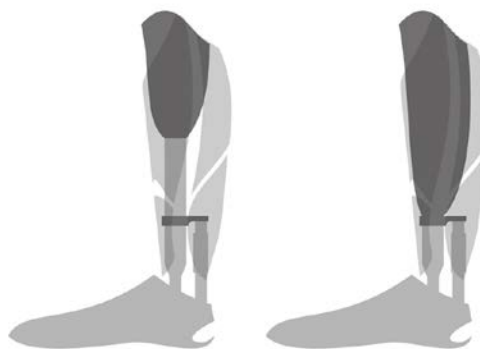


図4 ソケットのサイズ毎のカバーとの余剰



図5 カバーの取り外し

6. サイクリング用足部とペダルのデザインの詳細

足部の踵がクランクに接触する問題の解決として、踵を取り外しができるものにし、その取り外した踵を専用のペダルとして使用できる構造にした。走行時は踵を取り外し、自転車のクランクに取り付けてペダルにすることで、走行中は踵がなくなり、クランクに接触する危険性を大きく減らすことができる。また、歩行時にはクランクからペダルを取り外し、踵に取り付ける[図 6]。これにより、踵を削る形状よりも走行時は踵を小さくし、歩行時は踵の形状を維持することができ、クランクとの接触を解決しつつ、歩行時の安定性を確保することが可能になる。

さらに、足部とペダルの結合部に磁石を用いて固定のサポートを行う。ペダルにはバッテリーを内蔵させ、自転車走行中のクランクとペダルの回転を用いて充電し、歩行時に下腿部に給電する。

足部の形状としては、靴の舌の様な形状を用いる。サイクリング中に道路の小石などが跳ね、靴や足首に当たることがあ

り、アライメントやダンパーなどの精密部分を保護する目的として、なカバーを足部前面にデザインした。また、取り外しを可能にすることで掃除やメンテナンスを簡易にした。

また、足部後面に赤色の照明を内蔵し、サイクリング中にテールランプとして機能し、走行中の安全性を向上させることができる[図 7]。

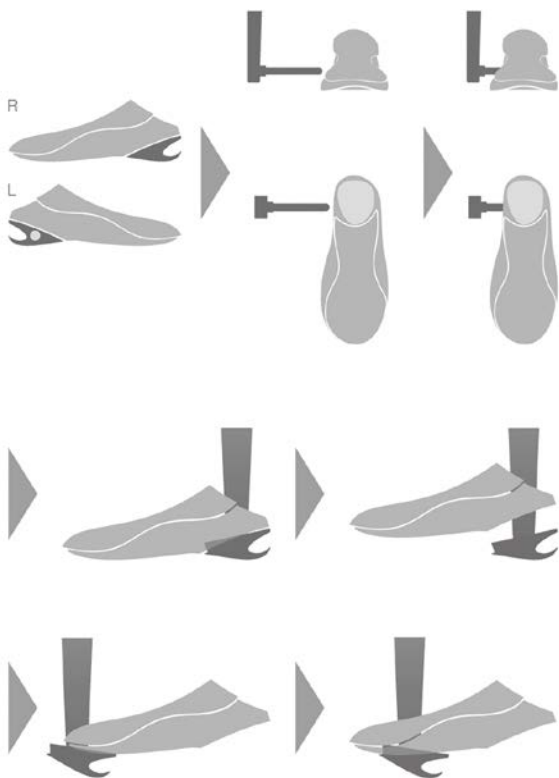


図6 取り外し可能な踵



図7 踵のテールランプ

7. まとめ

本研究では、バイオニクス技術と 3D プリンティング技術を用いて未来の義足の理想像の一つをデザインした。義足はこれまで欠けた要素を補うための道具であった。しかし、現在は補うだけでなく、機能が拡張されつつある。また、外観も最低限のものから個性を表現するためのものへと昇華している。その傾向は今後より加速し、義足は健足を超え、ファッションアイテムの一つとして確立され、用途も多岐に渡ると考えられる。そのニーズに応えるため、今後の義足を開発デザインするには、バックキャスト的思考で理想を明確にする必要があるだろう。

注、引用

- 1) TED 「私たちがサイボーグ化し人類の可能性を高める未来」
https://www.ted.com/talks/hugh_herr_how_we_ll_become_cyborgs_and_extend_human_potential/transcript